



NÚM. 122 SEPTIEMBRE-OCTUBRE DE 2015 ISSN: 1870-1760

BIODIVERSITAS

BOLETÍN BIMESTRAL DE LA COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD



SUELO Y SALUD

La mayor parte de la población de México (>75%) vive actualmente en zonas urbanas, donde tiene poco contacto directo con el suelo. Por consiguiente, cada vez menos personas son conscientes de que su bienestar depende de la conservación del suelo, tanto por el alimento que éste les provee como por los diversos servicios ambientales que aporta. Más desconocido aún es cómo la creciente degradación del suelo impacta en la salud pública, afectando la capacidad del suelo de rendir alimentos sanos, así como agua y aire limpios.

SUELO Y SALUD:
un tema poco atendido que nos incumbe a todos

CHRISTINA SIEBE Y SILKE CRAM



Suelos erosionados en la sierra Tarahumara, Chihuahua.
Foto: © Fulvio Eccardi

En los párrafos siguientes sintetizamos diversos aspectos que relacionan el suelo y su manejo con la salud humana. Pretendemos con ello mostrar que conservar el suelo no sólo es del interés de quienes lo trabajan directamente (agricultores, ganaderos y forestales), sino que es un tema prioritario para el bienestar de todos los sectores de la sociedad. Un suelo sano es vital para el ser humano y un mal manejo de este recurso conlleva a efectos adversos a través de lo que comemos, bebemos, respiramos y tocamos.

Somos lo que comemos

Actualmente, este antiguo proverbio se usa para indicar que una alimentación sobrada en calorías nos pone en riesgo de contraer enfermedades cardiovasculares, hipertensión y diabetes. Hace medio siglo la mayoría de las personas aún vivía en comunidades rurales y se alimentaba casi exclusivamente de los productos que producían sus tierras. El abastecimientos con elementos traza (aquellos compuestos químicos que son necesarios en cantidades ínfimas para el crecimiento, desarrollo y fisiología de un organismo) dependía por lo tanto del contenido de éstos en el suelo y de su biodisponibilidad para los cultivos. Las concentraciones de los elementos presentes en los suelos difieren en función del material geológico que da origen al suelo, y de las propiedades del suelo que determinan su solubilidad. Como lo anterior varía enormemente entre regiones, también los contenidos de elementos en los cultivos cambian en amplios rangos. En el Cuadro 1 se muestra un listado con las fuentes de varios elementos traza esenciales, así como sus efectos en la salud.

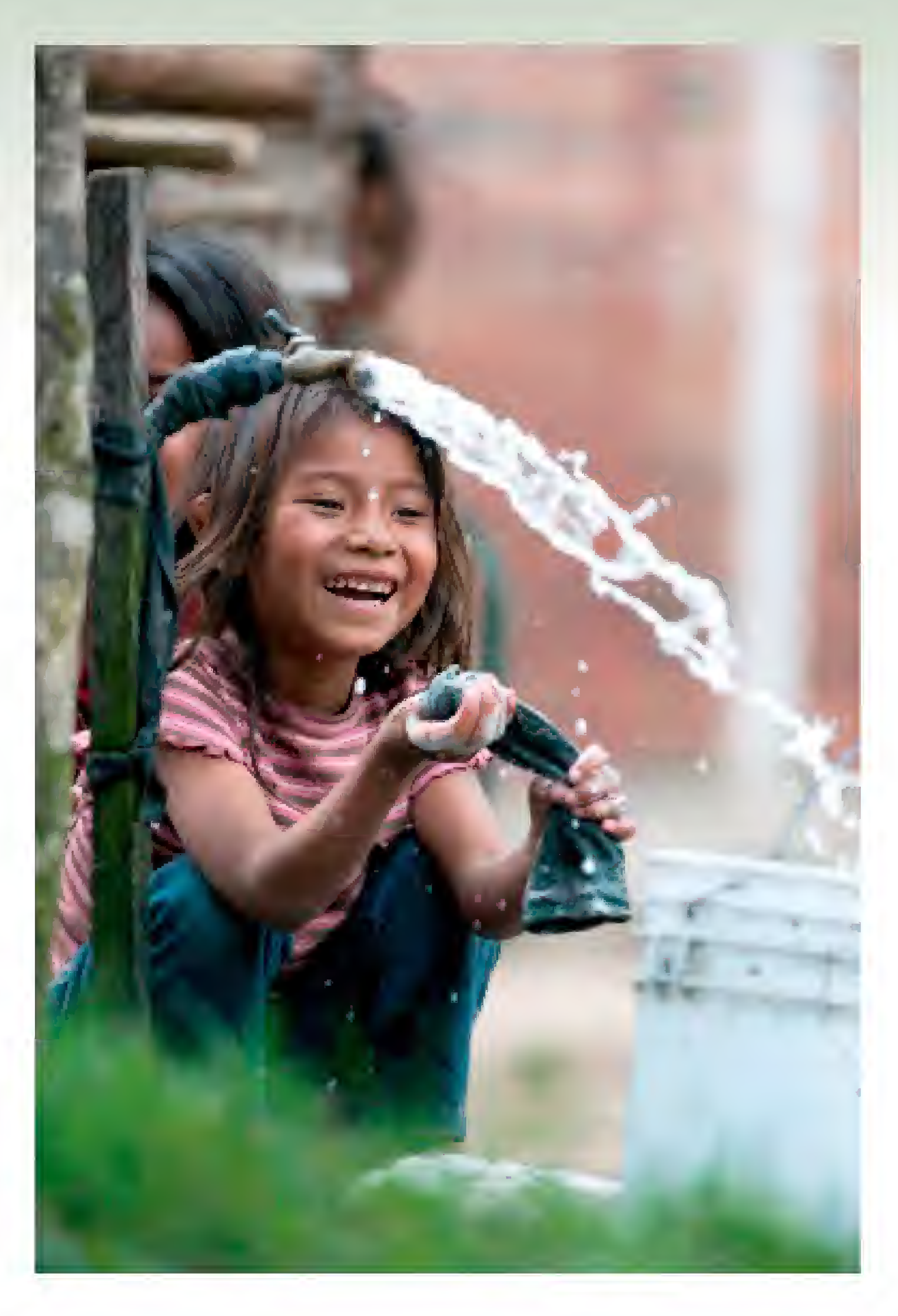
En general se conoce que las comunidades humanas que viven en áreas con suelos pobres en nutrientes sufren de desnutrición a causa de los bajos rendimientos que obtienen de sus tierras. Este problema va en aumento por procesos de degradación de suelos como la erosión, pérdida de materia orgánica o contaminación que reduce la cantidad de macro y micronutrimentos que las raíces de las plantas pueden absorber, mientras que aumentan las concentraciones de sustancias potencialmente tóxicas.

En algunas regiones de África las personas acostumbran ingerir suelo directamente para aliviar el hambre y para cubrir sus necesidades de elementos traza. La ingesta directa de suelo, conocida como geofagia, también puede aliviar intoxicaciones, ya que la alta capacidad de sorción del suelo fija o adsorbe las sustancias o bacterias tóxicas. Sin embargo, también se reporta que la geofagia puede provocar anemia, dado que los componentes órgano-minerales del suelo adsorben y fijan hierro o cinc, evitando su absorción en el intestino. La ingesta de suelo en grandes cantidades también provoca enfermedades, como un crecimiento excesivo del hígado, cirrosis y edemas. Si el suelo además está contaminado con organismos patógenos, parásitos o contaminantes, su ingesta tendrá múltiples efectos nocivos.

En la actualidad la mayoría de las personas vive en comunidades urbanas y se abastece de mercados cada vez más globales, lo que compensa posibles deficiencias de elementos particulares en regiones geográficas específicas. Por ello, ahora es mucho más complejo documentar la relación entre el suelo y la salud de los consumidores de sus productos. La geofagia tampoco es un comportamiento ampliamente distribuido entre la población adulta. Sin embargo, los niños suelen jugar en parques, jardines, patios escolares o campos deportivos. Allí están en contacto directo con la tierra y frecuentemente se llevan los dedos a la boca o chupan sus juguetes. En algunos países existe por lo tanto una normatividad que limita el uso del suelo contaminado para actividades recreativas en función de los contenidos de elementos y compuestos potencialmente tóxicos del suelo, considerando como vía de exposición la ingesta directa del mismo.

Los sistemas de producción agrícola que usan grandes cantidades de agroquímicos también han contribuido a aumentar la exposición a contaminantes a través de la cadena alimenticia. Muchos de los contaminantes se acumulan en el suelo con el tiempo, lo que aumenta su absorción por los cultivos.

Por otro lado, recientemente se ha observado un aumento la producción de verduras en sistemas hidropónicos de invernadero, es decir, cultivados sobre sustratos artificiales con soluciones nutritivas, que no necesariamente contienen todos los elementos traza en las proporciones requeridas por el cuerpo humano. No se ha estudiado aún si una dieta basada en cultivos de esta naturaleza conlleva a mediano y largo plazo a deficiencias en algunos elementos traza.



En México aproximadamente 37% del uso consuntivo proviene del agua subterránea; el 63% restante procede de cuerpos de agua superficiales.

Foto: © Fulvio Eccardi

Somos lo que bebemos

La calidad de agua subterránea depende en gran medida de procesos que ocurren en los suelos. Sustancias disueltas en el agua de lluvia o de riego que se infiltra a través del suelo pueden ser retenidas por diversos procesos dentro del suelo. Pero esta capacidad de filtrar, amortiguar y transformar tiene un límite, por lo que en suelos contaminados o con baja capacidad de filtración estas sustancias pueden contaminar los mantos acuíferos. Si ésta es utilizada para abastecer la red de agua potable pone en riesgo a quien la consume.

Un ejemplo muy bien documentado de lo anterior es la presencia de altas concentraciones de nitrato en el agua potable, proveniente de la oxidación de compuestos nitrogenados añadidos al suelo en cantidades superiores a las demandadas por los cultivos. El con-



Canal Requena en el Valle del Mezquital, donde se utilizan aguas residuales para riego agrícola desde hace más de un siglo.

Foto: © Christina Siebe

sumo de nitrato en exceso afecta sobre todo la salud de bebés menores de 12 meses alimentados con leche en polvo disuelta en agua rica en nitrato. Esta molécula bloquea a la hemoglobina de la sangre imposibilitando el transporte de oxígeno en el cuerpo, y causa una especie de asfixia y con ello la muerte de los infantes. Este padecimiento es conocido como el síndrome del bebé azul o metahemoglobinemia, y afecta a los menores de 6 a 12 meses, porque éstos aún no desarrollan el sistema de desintoxicación que transforma a los nitratos en sustancias inocuas. En adultos la ingesta excesiva de nitratos ocasiona la formación de nitrosaminas en el tracto intestinal, las cuales son carcinogénicas.

Igualmente existen numerosas evidencias del lavado de herbicidas, fungicidas e insecticidas de los suelos hacia los mantos acuíferos. Su ingesta igualmente se ha asociado con la prevalencia de diversos tipos de cáncer, desórdenes hepáticos, convulsiones, efectos neurotóxicos, entre otros.

En México aproximadamente 37% por ciento del uso consuntivo proviene del agua subterránea; el 63% restante procede de cuerpos de agua superficiales. La calidad de éstos se ha visto sensiblemente afectada en las últimas décadas, no sólo por las descargas de aguas residuales, sino también por partículas suspendidas resultantes de la erosión hídrica que afecta cada año mayores porciones de terreno. Esto no sólo resta capacidad productiva y merma los ingresos del agricultor, sino también deteriora la calidad del agua superficial y afecta la salud de quien la consume.

Somos lo que respiramos

No únicamente la erosión hídrica afecta los suelos del país. El Informe de la Situación del Medio Ambiente en México publicado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) reporta que 11.8% de la superficie del país está afectado por erosión hídrica y 9.5% por eólica. Las partículas suspendidas en este caso perjudican la calidad del aire. Sobre todo las partículas finas, de diámetros menores a 10 micras, pueden ingresar a los pulmones, y aquellas menores a 2.5 micras incluso pasan al torrente sanguíneo a través de los alveolos. En el valle de México las partículas suspendidas en el aire son los contaminantes que determinan durante la época de secas el índice de calidad del aire (IMECA). Existen múltiples evidencias de que la exposición prolongada de partículas de diámetro menor a 10 micras afecta la salud de sobre todo adultos mayores y niños, y provoca enfermedades respiratorias como el asma.

En sitios contaminados con metales pesados por actividades mineras o industriales también se han documentado efectos nocivos en la salud de los habitantes de áreas circundantes por partículas suspendidas. Algunos ejemplos de México son la afectación por cromo, que provoca la destrucción del tabique nasal y perjudicó a los habitantes de áreas aledañas a predios contaminados por la empresa Cromatos de México, cerrada en 1978, o la disminución de las capacidades cognitivas de niños y adultos en zonas inmediatas a la extracción y procesamiento de manganeso en el estado de Hidalgo.

Somos lo que tocamos

También la exposición cutánea con suelos contaminados afecta la salud humana. El padecimiento probablemente mejor documentado al respecto es la infección con la bacteria *Clostridium tetani*, causante del tétanos. Por otro lado, el suelo es el soporte de las áreas verdes de zonas urbanas que mejoran la calidad de vida del ser humano, porque reconfortan, dan sombra y oxígeno, refrescan y reducen islas de calor y permiten un sinnúmero de actividades de ocio y deporte. Así, por ejemplo, se sabe que personas con estrés y pacientes en hospitales se recuperan mucho mejor cuando hay áreas verdes a su alrededor. También el contacto con el suelo sano o el olor a tierra mojada son sensaciones que contribuyen al bienestar.

ELEMENTO	FUENTE	FUNCIÓN
Boro	**Manzanas, peras, uvas, nueces, zanahorias, vegetales de hoja verde, cereales integrales, pasas.**	Previene la osteoporosis, ayuda a construir y mantener saludables huesos y músculos, favorece la absorción de calcio.
Cinc	*Levadura, yemas de huevo*, **frutos secos**, *aves de corral*, **cereales, frijoles**.	Constituyente de la insulina y de muchas vitaminas, se requiere para la síntesis de proteínas y la formación de colágeno. Promueve un sistema inmunitario saludable. Previene desórdenes de crecimiento, anorexia y lesiones de la piel.
Cromo	**Brócoli**, *pavo*, **jugo de uva**, *levadura*, **arroz integral**, *queso*.	Es un cofactor para la formación de insulina en nuestro cuerpo, ayuda a mantener niveles normales de azúcar en la sangre y previene la diabetes.
Cobre	**Semillas de girasol**, **almendras**, **aguacate**, **champiñones**, **lenteja**s, ostras, langosta.	Es una protección antioxidante en los glóbulos rojos.
Hierro	**Cereales**, *carne magra*, *hígado*, **nueces**, **semillas**, **aguacate**, mariscos, *pollo*, **espinacas**, **frijoles**, *huevos*, **frutos secos**, **vegetales de hoja verde**.	Forma parte de la hemoglobina y la mioglobina, oxigena los glóbulos rojos, esencial en muchos procesos enzimáticos, importante para el crecimiento. Previene la anemia.
Flúor	Agua fluorada, **espinacas**, **col**, **lechugas**, **brotes de soya**, **café**, pescado, marisco.	Fortalece los huesos, reduce la incidencia de caries en niños y adultos.
Yodo	Sal yodada, mariscos, algas, **soya**, **espinacas**.	Ayuda a metabolizar el exceso de grasa, importante para el desarrollo físico y mental. Produce las hormonas tiroideas y previene el bocio.
Manganeso	**Aguacate**, **nueces**, **semillas**, algas, **salvado de avena**, **trigo**.	Se requiere para el metabolismo de proteínas y grasas, mantiene el sistema inmunitario saludable, regula el azúcar en la sangre.
Molibdeno	**Legumbres**, **granos**, **nueces**, *carne de res*, *hígado*, **vegetales de hoja verde**.	Se requiere para el metabolismo del nitrógeno, ayuda en la conversión de purinas a ácido úrico, promueve la función celular normal. Su deficiencia se asocia con enfermedades de la boca y las encías.
Níquel	**Avena**, **chícharos**, **frijoles**, **nueces**, **cacao.**	Ayuda en la absorción de hierro y en el metabolismo de la adrenalina y la glucosa, mejora la resistencia ósea.
Selenio	**Nueces de Brasil**, *levadura*, atún, *pollo*, **brócoli**, **granos enteros**.	Es un componente de la enzima glutatión-peroxidasa e inhibe la oxidación de lípidos. Previene enfermedades cardiovasculares.
Vanadio	**Eneldo**, pescado, **aceitunas**, *carne*, **rábano**, **ejotes**, **aceites vegetales**, **granos enteros**.	Favorece el metabolismo celular, la formación de huesos y dientes, inhibe la síntesis de colesterol, mejora la tolerancia a la glucosa, el crecimiento y la reproducción.

Cuadro 1. Fuentes y funciones de elementos traza esenciales para el cuerpo humano. (En letras negritas se muestran las fuentes que provienen directamente del suelo y en *cursivas* las que indirectamente se alimentan de productos que provee el suelo).

Consideraciones finales

La calidad del suelo no sólo es un tema que concierne a aquellos sectores de la población cuyos ingresos dependen directamente de su uso y aprovechamiento. Expusimos aquí múltiples ejemplos de la relación existente entre la salud humana y el suelo. Un aprovechamiento adecuado del suelo, por lo tanto, es del interés de todos. Lamentablemente en México existen muy pocos instrumentos de política pública que promuevan la conservación del suelo. Además de pocos, estos instrumentos se aplican de forma desvinculada entre las diferentes instancias de gobierno, y sólo en regiones localizadas. Es imperativo mejorar y ampliar las acciones que promuevan un uso adecuado de este vital recurso. Deberíamos todos estar dispuestos a cooperar no sólo a través de instrumentos de pago por servicios ambientales, sino también por el interés de preservar la salud.

Bibliografía

Abrahams, P. W. 2002. "Soils: Their implications to human health". *The Science of the Total Environment* 291: 1-32.

Brevik, E.C. y L.C. Burgess, 2003. *Soils and human health*. Boca Raton, CRC Press.

Comisión Nacional del Agua. 2012. *Compendio Estadístico de Administración del Agua (CEAA)*. México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en www.conagua.gob.mx [consultado el 20 de noviembre de 2013].

Cook, A., K. Ljung y R. Watkins. 2011. "Human Health and the State of the Pedosphere", *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, from Encyclopedia of Environmental Health*, pp. 108-115.

Gupta, U.C. y S.C. Gupta. 2014. "Sources and Deficiency Diseases of Mineral Nutrients in Human Health and Nutrition: A Review", *Pedosphere* 24(1): 13-38.

Oliver M.A. 1997. "Soil and human health: A review", *European Journal of Soil Science* 48(4): 573-592.

Rodríguez Agudelo, Y., H. Riojas Rodríguez, C. Ríos, I. Rosas, E. Sabido Pedraza, J. Miranda, C. Siebe, J.L. Texcalac, C. Santos Burgoa. 2006. "Motor alterations associated with exposure to manganese in the environment in Mexico", *Science of the Total Environment* 368: 542-556.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Compendio de Estadísticas Ambientales 2012*, en semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/03_suelos/cap3_2.html.

* Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. siebe@unam.mx

EL SUELO:

guardián de la calidad del agua subterránea

BLANCA PRADO,[1] CHRISTINA SIEBE,[1] WOLF-ANNO BISCHOFF,[2]
LUCERO HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ,[1] Y LUCY MORA[1]

En el Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo, se utiliza agua residual en el riego de campos agrícolas desde hace más de 100 años. Esta práctica ha provocado la formación de un acuífero somero estable, el cual es la fuente de abastecimiento de agua de la población local (alrededor de 500 000 habitantes). La buena calidad del agua subterránea se debe a que el suelo funciona como filtro, esto es, los contaminantes contenidos en el agua residual utilizada en el riego son retenidos en el suelo durante el proceso de infiltración del agua.

El suelo amortiguador de contaminantes

El suelo es el material que resulta de la interacción de las rocas y el material orgánico superficial, el cual es modificado por la acción del agua de lluvia, la radiación solar y el viento. En este sentido, la materia sólida del suelo está representada por minerales y materia orgánica con diferente grado de descomposición, que se rearreglan para dar lugar a un espacio poroso, que puede estar ocupado por agua y/o aire (Fig. 1). Este arreglo tridimensional permite que el suelo sea dinámico, posibilita el paso del agua y da lugar al proceso conocido como infiltración. El agua que llega a la superficie del suelo se infiltra, viaja a través de los poros del suelo recorriendo lo que se conoce como zona no saturada (en los poros hay agua y aire) hasta llegar al acuífero o zona saturada (en los poros sólo hay agua). En su viaje, el agua entra en contacto con la fracción sólida del suelo, la cual actúa como adsorbente de los contaminantes, mientras que los microorganismos del suelo se alimentan de los contaminantes. De este modo, al llegar al acuífero el agua ya no contiene una gran parte de los contaminantes que tenía al iniciar su recorrido por el suelo.

El Valle del Mezquital: un estudio de caso

México es el país latinoamericano que más hectáreas riega con agua residual cruda y se reportan más de 30 escenarios donde la irrigación agrícola depende del agua residual generada en las ciudades.[1, 2] Entre ellos se encuentra el Valle del Mezquital, en Hidalgo, donde existen zonas que se riegan desde hace más de 100 años con el agua residual cruda procedente de la ciudad de México.[3]

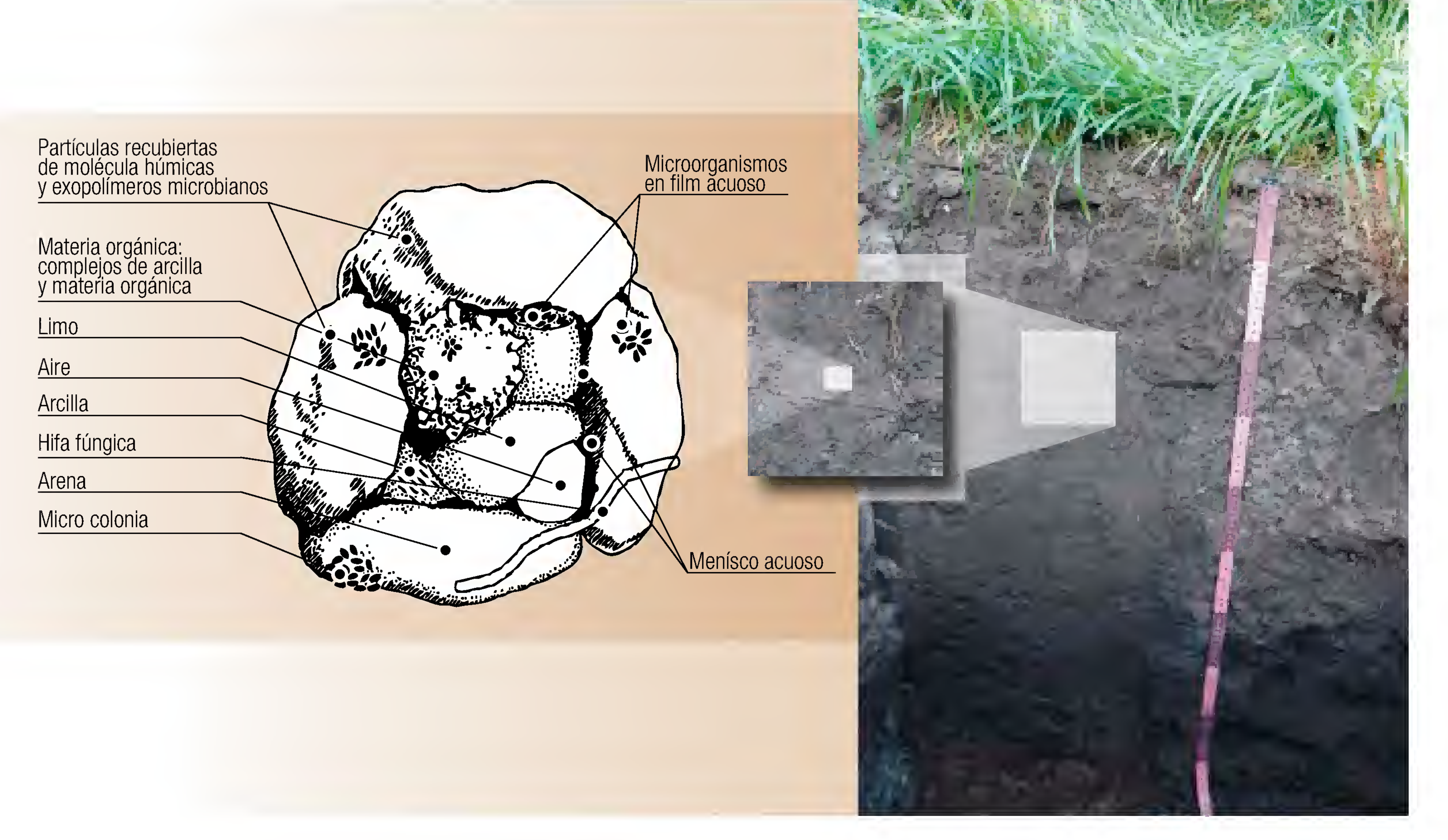


Figura 1. Representación de un agregado del suelo.
Fotos: © Lucero Hernández Martínez



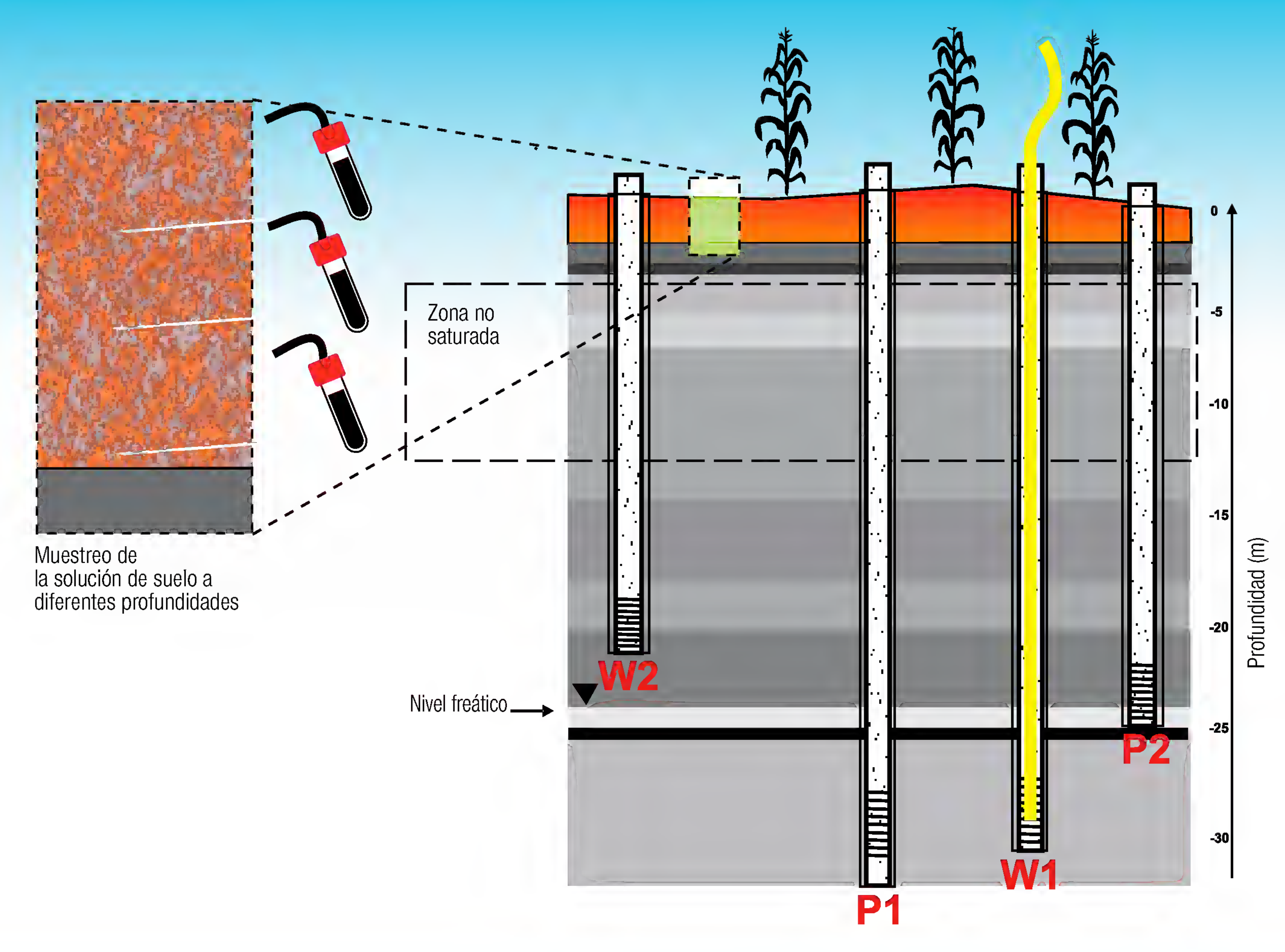
Figura 2.
Piedemonte en las cercanías del poblado de Tlahuelilpan. Los recuadros muestran detalles de las actividades de la agricultura de riego con agua residual.

La parte más alta del poblado de Tlahuelilpan, al suroeste del estado de Hidalgo, es atravesada por el canal principal de distribución del agua residual utilizada para el riego de las parcelas del piedemonte, Tlamaco-Juandhó, mientras que la parte más baja corresponde al manantial Cerro Colorado (Fig. 2).

Mediante el monitoreo de varios puntos de muestreo a diferentes profundidades, fue posible conocer la variación del nivel del agua y la calidad de la misma. La red de monitoreo incluye el canal de distribución de agua residual, un piezómetro profundo instalado en el piedemonte (a 35 m de profundidad aproximadamente), una noria utilizada por los lugareños como fuente de abastecimiento de agua localizada en el centro de Tlahuelilpan (a 22 m de profundidad aproximadamente) y el manantial donde brota el agua subterránea que ha recorrido toda la zona de estudio, Cerro Colorado, ubicado en la parte más baja del piedemonte.

Dinámica del agua

El riego con agua residual se realiza por inundación, con una periodicidad promedio de 13 eventos de riego por año. El volumen de agua aplicado a cada parcela depende de la superficie de la misma, y es de aproximadamente 0.20 m^3 de agua por cada m^2 de suelo. Del total del volumen aplicado, 60% se queda en el suelo, 20% sale por escurrimiento superficial y 20% percola hacia estratos más profundos.



Esquema metodológico para conocer el comportamiento del nitrógeno inorgánico y el fármaco carbamazepina

Esquemas que muestran la instalación de los instrumentos de monitoreo y la variación de la concentración de los contaminantes estudiados, desde la superficie del suelo hasta llegar al acuífero.

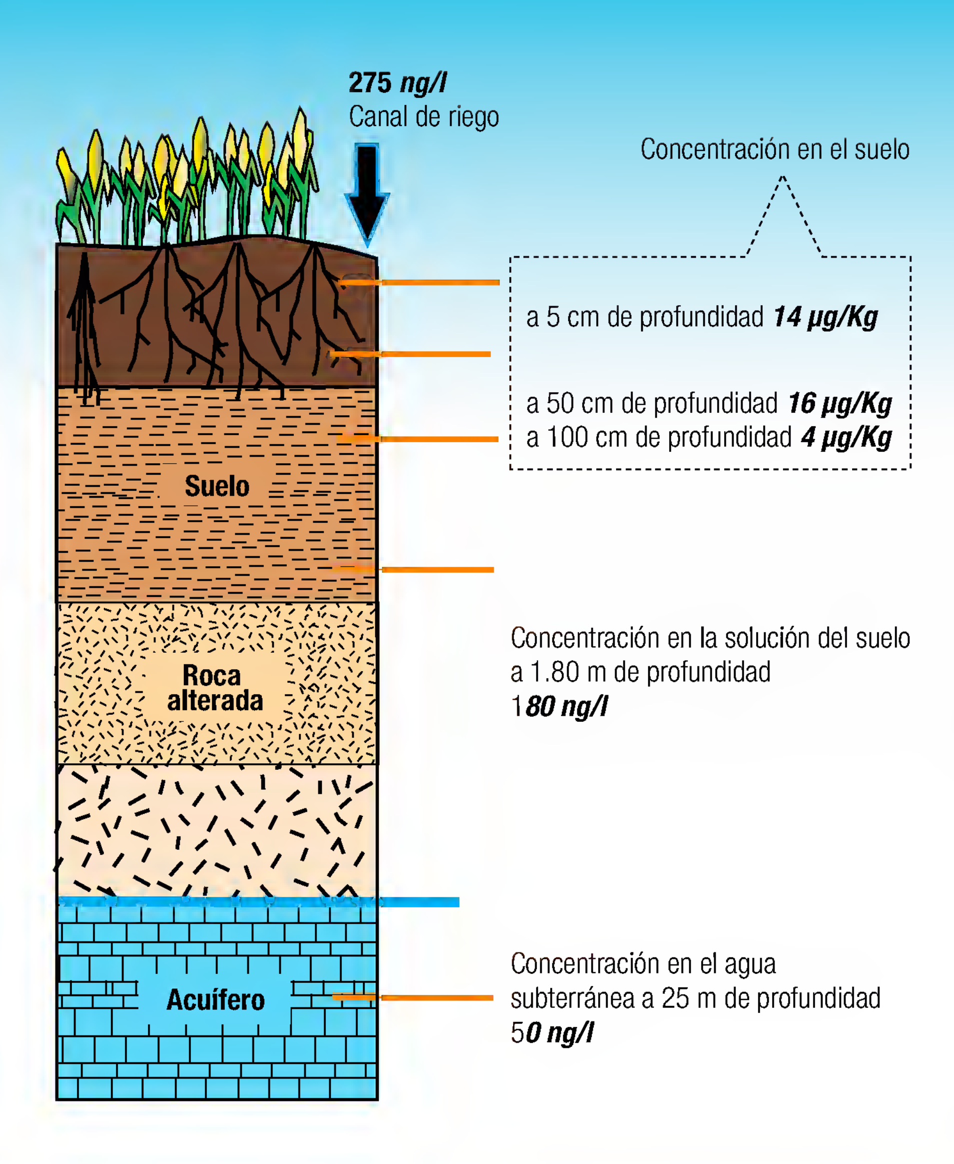
De este modo, anualmente se infiltran 165 mm^3, de los cuales 15.8 mm^3 corresponden a la lluvia, 69 mm^3 por retornos de riego y 80.2 mm^3 por infiltración del agua residual.[4] La dirección de flujo del agua subterránea es de este a suroeste y la profundidad del acuífero en la parte media del piedemonte varía de 22 a 25 metros de profundidad.

¿Qué pasa con los contaminantes que llegan con el agua residual?

Para conocer la variación de la concentración de los contaminantes que se infiltran junto con el agua de riego durante su recorrido desde la superficie del suelo hasta llegar al acuífero, se seleccionaron dos compuestos, un nutriente, el nitrógeno (N), y un fármaco, el antiepiléptico carbamazepina. Se colectaron muestras de agua en varios puntos para ejemplificar diferentes posiciones en el paisaje con base en la dirección del flujo.

En la Figura 3 se muestra la concentración del antiepiléptico carbamazepina en los diferentes puntos de monitoreo, desde la parte más alta (agua en el canal de riego), a diferentes profundidades del suelo, en el agua subterránea y hasta llegar al manantial. La concentración del fármaco fue de alrededor 275 ngL^{-1} en el agua residual utilizada en el riego, la concentración disminuye al pasar por el suelo debido a dos procesos que ocurren durante el viaje de la carbamazepina: la retención en la fracción orgánica del suelo y la degradación por los microorganismos del suelo.[5] La combinación de los dos procesos y la posible mezcla del agua de infiltración con agua subterránea de mejor calidad reducen hasta en 97% la concentración de carbamazepina en el piedemonte estudiado.

En el agua residual, el nitrógeno inorgánico se encuentra en forma de amonio (alrededor de 30 mgL^{-1}), esto se debe a la ausencia de oxígeno en el agua. Al ingresar al suelo, el agua de riego se oxigena con el aire presente en los poros del suelo, de tal forma que el nitrógeno es transformado a nitrato (NO_3) y la concentración de amonio (NH_4) disminuye, situación que dura las primeras horas una vez iniciado el riego. Al llenarse todos los poros del suelo de agua, el medio vuelve a quedarse sin oxígeno provocando una disminución de nitrato; esta situación se invierte cuando el agua se infiltra y el suelo es aireado. Aunado a lo anterior, dada la carga positiva del amonio y la carga neta negativa de las partículas del suelo, el



Cambio en la concentración en el agua de la carbamazapina a diferentes profundidades

compuesto puede ser retenido en el suelo. Este escenario se repite en las diferentes capas que constituyen la zona no saturada en las que el frente de humedad se va frenando al encontrarse materiales menos permeables.

El valor de la relación N/Cl tiene su máximo en el agua de riego, el cual se muestra a aproximadamente 60 cm por encima del punto de salida del escurrimiento superficial de las parcelas, que se indica a la profundidad cero en la figura; dado el desnivel de las parcelas del piedemonte, existe un gradiente de aproximadamente 60 cm entre la entrada y la salida superficial. El valor de la relación N/Cl disminuye y es variable (entre 0 y 0.2) en los primeros 50 cm del perfil de suelo, lo cual se debe a las variaciones en el contenido de oxígeno del suelo. En el agua subterránea (aproximadamente 300 cm de profundidad), la relación N/Cl disminuye ligeramente, lo que indica una disminución en la concentración de nitrógeno en el agua. Esto puede deberse a los procesos de transformación y adsorción del nitrógeno, así como a la mezcla con agua de diferente calidad.[6]

En conclusión, el suelo del la zona de estudio funciona como filtro de los contaminantes que llegan junto con el agua residual que se utiliza en el riego de los campos agrícolas. De los dos contaminantes estudiados, la concentración del fármaco disminuye alrededor de 97%; en el caso del nitrógeno, éste es transformado, degradado y adsorbido, de tal forma que la concentración que llega al acuífero es inferior a 50 mg/l, siendo esta concentración el límite establecido en las normas de calidad de agua potable.[7]

Agradecimientos

El trabajo fue financiado por el CONACYT proyecto 220489 y la DGAPA-UNAM proyecto PAPIIT IN105715.

Bibliografía

[1] Almanza Garza, V. 2000. “Reúso agrícola de las aguas residuales de Cd. Juárez (Chih., México). En el Valle de Juárez y su impacto en la salud pública”, *Revista Salud Pública y Nutrición* 1(3): 1-11.

[2] Jiménez, B. y T. Asano. 2008. *Section 1. World overview. Water reclamation and reuse around the world. Water reuse. An international survey of current practice, issues and needs*. Londres, IWA Publishing.

[3] British Geological Survey/Comisión Nacional del Agua/London School of Hygiene and Tropical Medicine/University of Birmingham. 1998. *Impact of wastewater reuse on groundwater in the Mezquital Valley, Hidalgo state, México. Final Report*, Department for International Development, Comisión Nacional del Agua, British Geological Survey, London School of Hygiene and Tropical Medicine, University of Birmingham, 155 pp.

[4] Lesser Carrillo, L.E., J.M. Lesser Illades, S. Arellano Islas y D. González Posadas. 2011. “Balance hídrico y calidad del agua subterránea en el acuífero del Valle Mezquital, México central”, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 28(3): 323-336.

[5] Durán, J.C., B. Prado, B. Jiménez. 2012. “Sorption and desorption of carbamazepine, naproxen and triclosan in a soil irrigated with raw wastewater. Estimation of the sorption parameters by considering the initial mass of the compounds in the soil”, *Chemosphere* 88: 84-90.

[6] Hernández Martínez, J. L., B. Prado, J.C. Durán Álvarez, W. A. Bischoff y C. Siebe. 2014. “Movement of water and solutes in a wastewater irrigated piedmont. Geochemistry of the Earth’s Surface meeting, GES-10”, *Procedia Earth and Planetary Science* 10: 365-369.

[7] NOM-127-SSA1-1994. Norma Oficial Mexicana: Salud ambiental, agua para uso y consume humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, en http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html.

[1] Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. bprado@geologia.unam.mx

[2] Terr-Aquat Consultants, Alemania.

EL SUELO
hábitat de interacciones maravillosas

PILAR ORTEGA LARROCEA*

¿Alguna vez han escuchado la palabra *micorriza*? No se refiere a los monos riendo. Alude a las interacciones que ocurren en el suelo entre algunos hongos especiales y todas, o casi todas, las plantas que crecen en el mismo. Las micorrizas, del griego *mikes* hongo y *rhiza* raíz, son las interacciones planta-microorganismo que se han dado desde la colonización del medio terrestre de las plantas en el planeta. En efecto, esta simbiosis trata de una *coevolución* ancestral en donde diversos grupos de hongos han participado en ayudar a las plantas a establecerse en el ambiente terrestre mientras, también, los suelos han evolucionado. De ahí que actualmente no se conciba la existencia de un suelo donde no haya micorrizas; de hecho, los bosques sin micorrizas no existirían. Pero *¿por qué tanta importancia a estas relaciones?* El suelo, reservorio de nutrimentos para los seres vivos, requiere la presencia de una gran cantidad de microorganismos que ayuden a reciclarlos y hacerlos accesibles a otros seres vivos. Y así ocurre con muchos hongos y bacterias degradadores que facilitan el intercambio de nutrimentos que pasan de organismo a organismo o quedan liberados en la materia orgánica en formas más disponibles. En el caso de las micorrizas, éstas ayudan a las plantas a adquirir tasas más elevadas de compuestos retenidos en el suelo y, de esta forma, el hongo recibe a cambio la energía fijada de la fotosíntesis, cobrando con bonos de carbono por su trabajo.[1] A la vez que las plantas reciben macronutrientes como nitrógeno o fósforo de manera más rápida a través de los hongos, también pueden absorber otros elementos cuya concentración en los suelos es todavía menor. Sin embargo, esta facilidad de absorber elementos del suelo también podría verse revertida cuando existen en el mismo en concentraciones excesivas. Y es aquí donde el hongo tiene un papel *bioprotector* porque evita que las plantas tomen en cantidades que pudieran ser nocivas a algunos elementos. El hongo retiene en sus hifas contaminantes y, de esta manera, no se traslocan o transfieren a las partes aéreas, como pueden ser los frutos, que pudieran afectar a la salud humana por su ingesta en el caso de las plantas comestibles. De ahí la importancia de que las micorrizas puedan ser utilizadas en la restauración ecológica por suelos impactados por contaminación química. Varios ejemplos podemos citar al respecto, como los suelos contaminados por

Interacción de un pino con una ectomicorriza (*Amanita muscaria*) en el suelo mostrando amplificado un ápice de la raíz modificada donde el hongo la recubre y de donde parte el micelio externo para explorar la matriz edáfica.

Ilustración: © Elem-Chou Productions

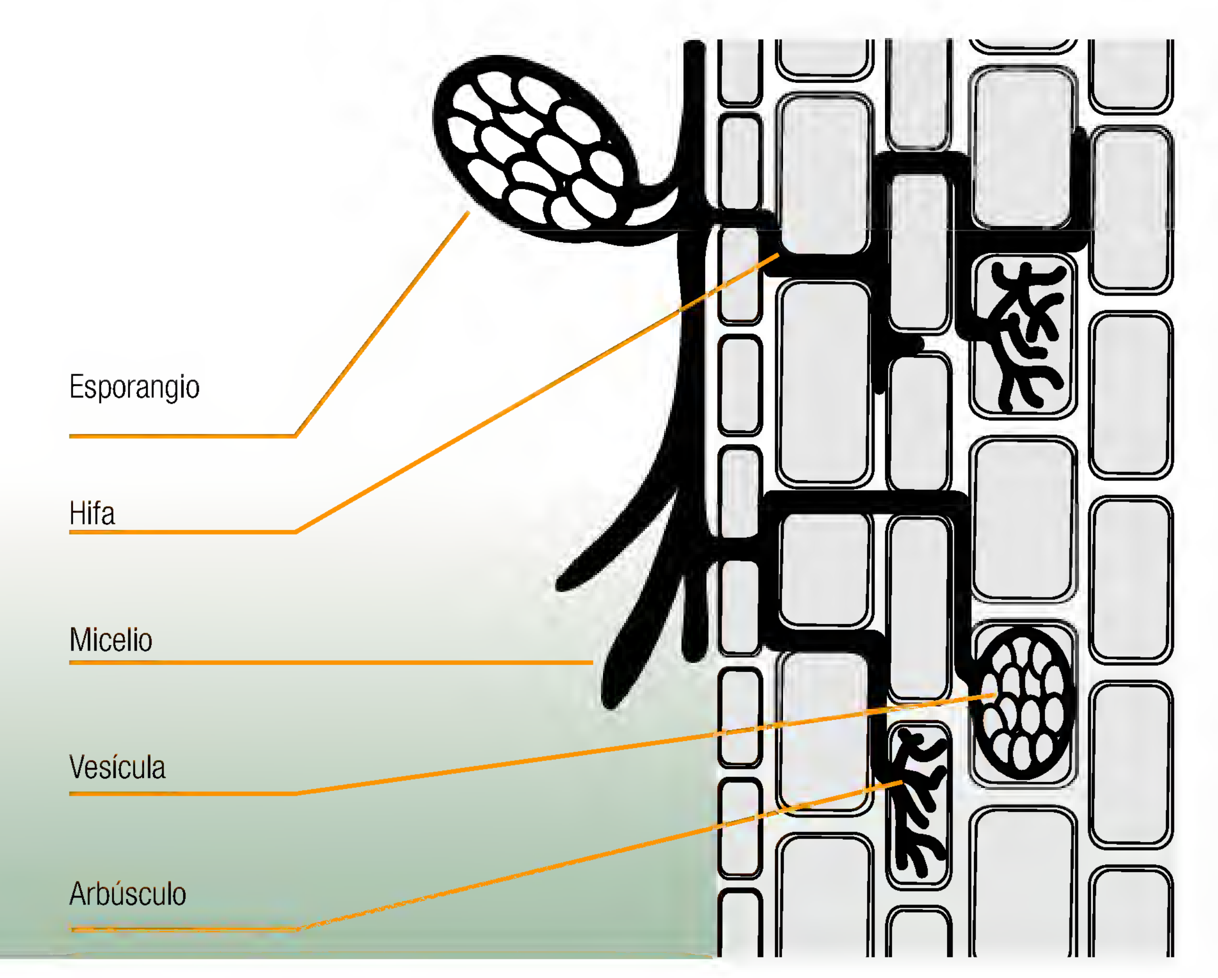
aguas residuales en el Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo. Aquí, existe el distrito de riego más grande y antiguo del mundo en donde el aporte diario de las aguas negras provenientes de la ciudad de México aumenta las concentraciones de nutrimentos en los suelos que han sido convertidos a la agricultura y a donde llegan dichas descargas.[2] Tales nutrimentos, como el fósforo que proviene de los detergentes y de los jabones que usamos a diario, y diversos metales pesados de los lodos residuales quedan retenidos en las raíces de las plantas siendo así menos disponibles a los tejidos aéreos de los cultivos.[3, 4]



En otros ecosistemas que han sufrido contaminación ambiental como los jales producto de la explotación minera, las micorrizas también tienen un papel importante. En estos residuos, la cantidad de elementos potencialmente tóxicos, como arsénico, plomo, etc., quedan disponibles al ambiente y pueden tener un efecto en la salud humana por lo que deben ser estabilizados en los jales a través de la aforestación con plantas que puedan soportar condiciones extremas y ayudadas por esta simbiosis.[5] Ahondando en esto, se demostró, bajo condiciones experimentales, que las micorrizas pueden regular genéticamente la toma de arsénico al absorberlo en su micelio y excretarlo en una forma menos tóxica al sustrato.[6]

Algunos suelos sufren otros tipos de impacto distintos al de la degradación química por contaminantes; la degradación física también puede ser asistida por las micorrizas. Tal es el caso del bosque tropical seco de Chamela, en el estado de Jalisco, donde las micorrizas desempeñan un papel muy importante en mantener la estabilidad de los agregados del suelo.[7] El efecto de la roza, tumba y quema, la conversión de selva a pastizal y el pisado del ganado deterioran la estructura del suelo haciéndolo susceptible a la erosión. Las micorrizas estabilizan los agregados no sólo a través de su micelio, sino también por medio de la excreción de una proteína resistente que se conserva a largo plazo en el almacén edáfico y que sirve además en el secuestro de carbono. Éste es otro papel en el que los microorganismos del suelo participan de manera crucial que va más allá de sus relaciones directas con las plantas.

Ilustración que muestra una endomicorriza arbuscular en donde se observa el hongo dentro de las capas internas de la raíz de la planta sin modificar su estructura.



En otro tipo de bosques no estacionales, como el bosque de pino encino en el corredor biológico Chichinautzin en los estados de México y Morelos, el cambio de uso de suelo y la extracción del mismo para la venta han producido un impacto considerable en los incendios forestales, en la pérdida de infiltración y de diversidad biológica, y han disminuido la abundancia de hongos micorrízicos que pueden ser usados como un recurso comestible alternativo en el lugar. Las gimnospermas requieren de las micorrizas casi de manera obligada para subsistir, sobre todo en bosques en los que los suelos pueden llegar a tener escasos centímetros de profundidad y soportan el crecimiento de árboles de unos cuantos metros de alto. El estrés hídrico que sufren los árboles en estos biomas se ve en gran parte reducido a través de las micorrizas, así como de la adquisición de nutrimentos provenientes de la materia orgánica del escaso suelo. La diversidad de hongos está en función de los contenidos de carbono y nitrógeno de los suelos que, a su vez, han sufrido un proceso evolutivo que está relacionado con la antigüedad de las erupciones volcánicas.[8, 9, 10, 11]

Otro ejemplo interesante en donde las micorrizas desempeñan un papel fundamental en la salud de los edafoecosistemas es el ecosistema protegido en la reserva urbana Ecológica del Pedregal de San Ángel, que constituye un refugio de la orquideoflora del sur del valle de México y se encuentra en las instalaciones de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México. Este ecosistema corresponde a matorral xerofítico en el que existen algunas orquídeas terrestres cuya fragmentación de hábitat las hace vulnerables a la desaparición. Las orquídeas en el inicio de su ciclo de vida son completamente dependientes de las micorrizas (micotrofia obligada) en el momento de la germinación de las semillas. Sin sus micorrizas, las orquídeas no podrían llegar a establecerse como plantas adultas, y encontrar el hongo adecuado en el suelo al momento de germinar es indispensable para su reclutamiento. Algunas orquídeas en esta reserva han sido descritas como especies únicas, por lo que una alternativa para rescatar su germoplasma y a las poblaciones nativas es el aislamiento de los simbiontes micorrízicos para llevar a cabo la propagación masiva *in vitro* de las plantas.[12] Las plantas simbióticas o con micorrizas han demostrado tener una supervivencia significativamente mayor en el tiempo al ser reintroducidas en su hábitat natural.[13, 14, 15]

De hecho, un fracaso o mortalidad elevada se registran sistemáticamente en el cultivo de plantas que no ha usado las micorrizas en su propagación, y afecta

principalmente a los programas gubernamentales de reforestación de bosques.[16] Esto se debe no sólo a que las micorrizas permiten una mejor nutrición mineral en el momento de establecerlas en los suelos; también se debe a que, al ocupar un nicho ecológico en las raíces de las plantas, evitan que otros microorganismos, que pueden ser patógenos, se establezcan en las mismas. Sin embargo, el hecho más notable es que, cuando se establece la simbiosis, las plantas regulan sus vías metabólicas al encender genes que se ven activados con la simbiosis, lo cual no puede ser sustituido por la aplicación de ningún fertilizante químico en el suelo.[17] No por nada todas las plantas en cualquier ecosistema presentan micorrizas, por lo que el estudio de las plantas sin micorrizas es el estudio de artefactos.

Agradecimientos

Proyectos PAPIIT-IT101812 y PAPIIME-PEI108915, DGAPA-UNAM.

Bibliografía

[1] Smith S.E., D.J. Read. 2010. *Mycorrhizal Symbiosis*. Ámsterdam, Elsevier Science.

[2] Ortega Larrocea M.P., C. Siebe. 2009. "Historia de la utilización de las aguas residuales en el Valle del Mezquital, Hidalgo, y su efecto en la simbiosis micorrízica arbuscular", en J. Álvarez Sánchez (ed.), *Ecología de micorrizas arbusculares y restauración de ecosistemas*. México, Facultad de Ciencias-Universidad Nacional Autónoma de México.

[3] Ortega-Larrocea M.P., C. Siebe, G. Bécard, I. Méndez y R. Webster. 2001. "Impact of a century of wastewater irrigation on the abundance of arbuscular mycorrhizal spores in the soil of the Mezquital Valley of México", *Applied Soil Ecology* 16(2): 149-157.

[4] Ortega-Larrocea M. P., C. Siebe, A. Estrada y R. Webster. 2007. "Mycorrhizal inoculum potential of arbuscular mycorrhizal fungi in soils irrigated with wastewater for various lengths of time, as affected by heavy metals and available P.", *Applied Soil Ecology* 37: 129-138.

[5] Ortega-Larrocea, M.P., B. Xoconostle Cázares, I. E. Maldonado Mendoza, R. Carrillo González, J. Hernández Hernández, M. Díaz Garduño, M. López Meyer, L. Gómez Flores y M.C.A. González Chávez. 2010. "Plant and fungal biodiversity from metal mine wastes under remediation at Zimapan, Hidalgo, México", *Environmental Pollution* 158(5): 1922-1931.

[6] González Chávez, M.C.A., M.P. Ortega Larrocea, R. Carrillo González, M. López Meyer, B. Xoconostle Cázares, S.K. Gomez, M.J. Harrison, A.M. Figueroa López, I.E. Maldonado Mendoza. 2011. "Arsenate induces the expression of fungal genes involved in as transport in arbuscular mycorrhiza", *Fungal Biology* 115(12): 1197-1209.

[7] Cotler, H. y M.P. Ortega Larrocea. 2006. "Effect of land use on soil erosion in a Mexican tropical dry forest", *Catena* 65: 107-117.

[8] Reverchon, F., M.P. Ortega Larrocea y J. Pérez Moreno. 2010. "Saprophytic fungal communities change in diversity and species composition across a volcanic soil chronosequence at Sierra del Chichinautzin, Mexico", *Annals of Microbiology* 60(2): 217-226.

[9] Reverchon, F., M. P. Ortega Larrocea, J. Pérez Moreno, V.M. Peña Ramírez y C. Siebe. 2010. "Changes in community structure of ectomycorrhizal fungi associated to Pinus montezumae across a volcanic chronosequence at the sierra del Chichinautzin, Mexico", *Canadian Journal Forest Research* 40(6): 1165-1174.

[10] Reverchon, F., M.P. Ortega Larrocea y J. Pérez Moreno. 2012. "Soil factors influencing ectomycorrhizal sporome distribution in neotropical forests dominated by Pinus montezumae, Mexico", *Mycoscience* 53(3): 203-210.

[11] Reverchon, F., M. del Pilar Ortega Larrocea, G. Bonilla Rosso y J. Pérez-Moreno. 2012. "Structure and species composition of ectomycorrhizal fungal communities colonizing seedlings and adult trees of *Pinus montezumae* in Mexican neotropical forests", *FEMS Microbiology Ecology* 80(2): 479-487.

[12] Ortega Larrocea, M.P. 2008. "Propagación simbiótica de orquídeas terrestres con fines de restauración edafoecológica", en J. Álvarez Sánchez y A. Monroy Ata (comps.), *Técnicas de estudio de las asociaciones micorrízicas y sus implicaciones en la restauración*. México, Facultad de Ciencias-Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 85-96.

[13] Ortega Larrocea, M.P. t M. Rangel Villafranco. 2007. "Fungus-assisted reintroduction and long-term survival of two Mexican terrestrial orchids in the natural habitat", *Lankesteriana* 7(1-2): 317-321.

[14] Rangel Villafranco M. y M.P. Ortega Larrocea. 2007. "Efforts to conserve endangered terrestrial orchids in situ and ex situ at two natural reserves within Central Mexico", *Lankesteriana* 7(1-2): 326-333.

[15] Ortega-Larrocea M.P., A. Martínez y V.M. Chávez. 2009. "Conservación y propagación de orquídeas", en A. Lot y Z. Cano Santana (eds.), *Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal*. México, Coordinación de la Investigación Científica/Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel-Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 483-495.

[16] Ortega Larrocea, M.P. y D. González. 2008. "Los hongos asociados a las orquídeas terrestres en la restauración", en G. Heredia A. (ed.), *Tópicos sobre diversidad, ecología y usos de los hongos microscópicos en Iberoamérica*. Xalapa Instituto de Ecología, , pp. 219-227.

[17] González D. y M.P. Ortega Larrocea. 2008. "Aplicación de métodos filogenéticos en la clasificación, identificación y conservación de los hongos anamorfos", en G. Heredia A. (ed.), *Tópicos sobre diversidad, ecología y usos de los hongos microscópicos en Iberoamérica*. Xalapa, Instituto de Ecología, pp. 129-146.

* Departamento de Edafología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México; mpol@geologia.unam.mx

¿CONSERVAR LOS SUELOS
o sólo manejar bien la tierra?

HELENA COTLER ÁVALOS*



Cultivos en chinampas en Xochimilco, Ciudad de México.

Fotos: © Fulvio Eccardi

Durante una entrevista a un agricultor, en el municipio de Villa Purificación, Jalisco, para conocer las prácticas de conservación de suelos que realizaba, obtuve una respuesta inesperada; me contestó que él "aún no llegaba a eso de conservar el suelo, que sólo manejaba bien la tierra".

Manejar bien la tierra para Juan García Hernández significa no quemar los rastrojos, sino más bien incorporarlos, asociar cultivos y rotarlos a lo largo de los años, dejar descansar la tierra, incorporar composta y no cortar "los palos" aledaños; la experiencia le indicaba que con estas prácticas el suelo podía recuperar sus nutrientes y fertilidad.

Históricamente, la práctica de la conservación de suelos ha estado integrada en muchas tradiciones de usos de la tierra, ante la cual muchas culturas encontraron formas de manejo adaptadas a sus condiciones ambientales (tipos de clima, relieve, suelos), sociales (tenencia de la tierra, posibilidad de manejo de obra) y culturales.[1] Aún hoy podemos apreciar paisajes transformados con terrazas, chinampas, ollas, entarquinamiento, curvas de nivel, milpas, franjas de pastos, asociación de cultivos. Diversos nombres para indicar un manejo de la tierra en función de su aptitud que favorece la restitución de los nutrientes y la conservación de los suelos *in situ*.

La materia orgánica del suelo determina la actividad biológica. La descomposición de hojas, tallos, frutos y flores realizada por microorganismos, hongos y bacterias que residen en el suelo, da lugar a compuestos orgánicos que permiten que los suelos recuperen los niveles de nutrientes que seguirán siendo requeridos por los cultivos. La cantidad, la diversidad y la actividad de la fauna y los microorganismos del suelo están directamente relacionados con la materia orgánica que tiene una gran influencia en las propiedades físicas, como la estructura, y químicas (acidez) de los suelos.[2] La formación de agregados y su estabilidad ante posibles impactos (como del tractoreo o las gotas de agua) aumentan con el contenido de materia orgánica. Esto a su vez incrementa la tasa de infiltración y la disponibilidad de agua del suelo, así como su resistencia contra la erosión. La materia orgánica del suelo también mejora la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrientes de las plantas, lo cual contribuye a la obtención de mejores rendimientos. Por ello, la materia orgánica del suelo representa un indicador clave de la calidad del suelo, tanto para funciones agrícolas (es decir, la producción y la economía) como para las funciones ambientales (por ejemplo, el secuestro de carbono y la calidad del aire).

Cultivos de maíz en terrazas en la región de Tehuacán, Puebla.

En la historia reciente, la experiencia de implementación de prácticas apropiadas para incorporar materia orgánica a los suelos fue interrumpida durante la llamada "revolución verde", la cual cumplió parcialmente con su promesa de elevar los rendimientos, aunque a un costo ambiental y social, cuyas consecuencias se siguen sintiendo hoy en día.[3] El establecimiento de una agricultura basada en combustibles fósiles (a través de fertilizantes y pesticidas) convirtió a esta actividad en uno de los principales detonadores del cambio climático.

Pero ¿por qué fue necesario para Juan García Hernández hacer la diferenciación entre conservar los suelos y manejar bien la tierra? Quizá la respuesta se encuentre en la manera en que a partir de las políticas públicas federales se ha impulsado el tema de la conservación de suelos. Al revisar las principales acciones subsidiadas por los programas del Programa Nacional Forestal (PRONAFOR) y de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)[4, 5] constatamos que son las prácticas mecánicas, tales como zanjas (o tinas ciegas), presas (gavión, morillos) y cordones de piedra las más difundidas. Todas ellas constituyen estructuras que retienen sedimentos en la ladera, resultado de la erosión de suelos. Sin embargo, ninguna de ellas evita que el suelo se erosione, ni tampoco mejoran su calidad *in situ* a través de la incorporación de materia orgánica, que permite el círculo virtuoso descrito anteriormente. Es por ello, que estas prácticas tienen un rol suplementario, no siempre necesario, por lo que se recomienda utilizarlas sólo como acompañante de aquellas prácticas que sí incorporan materia orgánica al suelo.

Transitar de prácticas mecánicas hacia prácticas que incorporen materia orgánica también puede modificar el actual papel de la agricultura, de emisora de CO_2 a receptora, por medio de la captura de carbono, la incorporación de nutrientes y la disminución de las pérdidas de nitrógeno.[6]

El impulso a la adaptación al cambio climático requiere escuchar mejor a los muchos Juan García Hernández que, a través de prácticas diversas y flexibles, mejoran la calidad de los suelos, y han podido disminuir su vulnerabilidad ante eventos hidrometeorológicos extremos. Dado que los suelos con mayor contenido de materia orgánica tienen la posibilidad de retener una mayor cantidad de agua, se disminuye el escurrimiento y con ello se desfasan temporalmente las avenidas.





La conservación de suelos puede contribuir a que los pequeños productores mantengan sus tierras productivas.

Hoy en día menos de 12% de la superficie nacional está ocupada por actividades agrícolas; de ellas, cerca de 72% de las unidades productivas (UP) censadas en 2007 son menores a 5 hectáreas,[7] y sin embargo, esta agricultura familiar es la menos apoyada por las políticas públicas. Por ello en 2012, 48.6% de las UP mencionaron la pérdida de fertilidad como uno de los principales problemas para el desarrollo de sus actividades.[8] En ese sentido, la conservación de suelos puede contribuir a que los pequeños productores mantengan sus tierras productivas, como medio para alcanzar la soberanía alimentaria.

Apoyarlos en su intento de "sólo" manejar bien la tierra debería hacernos repensar de manera crítica nuestras políticas públicas. Seguir el camino de prueba-error de Juan García Hernández o mantener el rumbo trazado por las políticas públicas, sin cuestionarnos y sin evaluar su impacto, es uno de los muchos dilemas que debemos atender con urgencia. De ello dependerá que podamos incrementar los rendimientos, acercarnos a una seguridad alimentaria y, al mismo tiempo, conservar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Los suelos se agotan y no podremos recuperarlos a corto plazo, lo cual no nos deja mucho tiempo para dudas.

Bibliografía

1 Showers, B.K. 2006. "Soil erosion and conservation: an international history and a cautionary tale", en: B.P. Warketin (ed.) *Footprints in the soil, people and ideas in soil history*. Ámsterdam, Elsevier, pp. 369-406.

2 Brady. N. y R. Weil. 1999. *The nature and properties of soils*. Upper Saddle River, Prentice Hall Inc.

3 Sarukhán, J. y H. Cotler. 2015. "Nos estamos serruchando el piso", *Este País* 287: 33-37, marzo.

4 Cotler, H., E. Sotelo, J. Dominguez, M. Zorrilla, S. Cortinas y L. Quiñones. 2007. "La conservación de suelos: un asunto de interés público" *Gaceta Ecológica* 83, en (http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53908302)

5 Cotler, H., S. Cram, S. Martinez Trinidad y E. Quintamar 2013. "Forest soil conservation in central Mexico: an interdisciplinary assessment", *Catena* 104: 280-287.

6 Delgado, J.A., y R.F. Follett. 2002. "Carbon and nutrient cycles", *Journal of Soil and Water Conservation* 57(6): 455-464.

7 Robles Berlanga, H. 2012. "El caso de México", en F. Soto y S. Gómez (eds.), *Dinámicas de la tierra en América Latina y el Caribe: concentración y extranjerización*. Santiago, FAO-Oficina Regional América Latina, pp. 307-341.

8 Encuesta Nacional Agropecuaria 2012, en http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/encuestas/agropecuarias/ena/ena2012/doc/ena2012_mini.pdf

* Facultad de Ciencias, UNAM,
helenacotler@gmail.com

Manual para el rastreo de animales silvestres de México

El rastreo es una actividad antigua que tal vez se remonte a los tiempos en que los primeros humanos se convirtieron en cazadores-recolectores. En muchas ocasiones el acertado rastreo de los animales determinaba el éxito de una expedición. Para muchas personas que cazan, ya sea como complemento para su subsistencia o por deporte, el rastreo sigue siendo una herramienta fundamental, que también nos permite conocer, de una manera sencilla, confiable y económica, diversos aspectos de la biología de los mamíferos silvestres. Los biólogos, particularmente los mastozoólogos, por distintas razones utilizaban poco el rastreo. Pero esta situación ha venido cambiando en los últimos años; un creciente interés por el estudio de los mamíferos grandes y medianos ha llevado a quienes lo tienen a aprender sobre el rastreo, con la ayuda de guías de campo. El conocimiento y la práctica del rastreo son las claves para entender y aprovechar la información escrita en forma de rastros y, como el autor cita: "las aplicaciones del rastreo están limitadas únicamente por nuestra creatividad".

Debido a la gran aceptación que ha tenido esta obra entre el público, la CONABIO ha determinado hacer una reimpresión, pues ofrece información precisa sobre la descripción del rastreo, sus aplicaciones prácticas y fotografías de los rastros de los distintos mamíferos que habitan el país.



La misión de la CONABIO es promover, coordinar, apoyar y realizar actividades dirigidas al conocimiento de la diversidad biológica, así como a su conservación y uso sustentable para beneficio de la sociedad.

Sigue las actividades de CONABIO a través de Twitter y Facebook







Biodiversitas es de distribución gratuita. Prohibida su venta.

Los artículos reflejan la opinión de sus autores y no necesariamente la de la CONABIO. El contenido de *Biodiversitas* puede reproducirse siempre que se citen la fuente y el autor. Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor: 04-2013-060514223800-102. Número de Certificado de Licitud de Título: 13288. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 10861.

EDITOR RESPONSABLE: Fulvio Eccardi Ambrosi
DISEÑO: Tools Soluciones
CUIDADO DE LA EDICIÓN: Adriana Cataño y Leticia Mendoza
PRODUCCIÓN: Gaia Editores, S.A. de C.V.
IMPRESIÓN: Editorial Impresora Apolo, S.A. de C.V.

fulvioeccardi@gmail.com • biodiversitas@xolo.conabio.gob.mx
COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD
Liga Periférico-Insurgentes Sur 4903, Parques del Pedregal, Tlalpan 14010 México, D.F.
Tel. 5004-5000, fax 5004-4931, www.conabio.gob.mx Distribución: nosotros mismos